

中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术

范英宏¹, 陆兆华^{1*}, 程建龙¹, 周忠轩², 吴 钢²

(1. 中国矿业大学(北京)恢复生态研究所, 北京 100083; 2. 中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085)

摘要:煤炭是我国最主要的一次性能源,而且这种能源结构在相当长的时间内不会改变。煤炭资源的开发对我国经济建设和社会发展起到了重要的支撑作用,但是煤炭的开采和利用引发了一系列的生态环境问题,矿区已成为典型的、严重受损生态系统。矿区生态环境问题,已经成为制约矿区可持续发展乃至区域生态安全的重大隐患。矿区生态环境综合治理已迫在眉睫。综述了我国煤矿区主要的生态环境问题以及具体的治理方法和技术措施,包括矿井水和煤矸石的资源化、污染土地的修复、植被的恢复及水土流失和沙漠化防治技术等。

关键词:煤矿区; 生态环境; 生态重建; 生态系统; 资源化

Major ecological and environmental problems and the ecological reconstruction technologies of the coal mining areas in China

FAN Ying-Hong¹, LU Zhao-Hua^{1*}, CHENG Jian-Long¹, ZHOU Zhong-Xuan², WU Gang²

(1. Institute of Restoration Ecology, China University of Mining & Technology, Beijing, 100083, China; 2. Key Lab. of Systems Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2144~2152.

Abstract: Coal is the most important one-off energy and plays an important role in China's economic construction and social development. But the coal development resulted in a lot of ecological and environmental problems, including land and vegetation destruction, water and air pollution, heavy metal pollution, desertification and so on. These problems are hidden troubles that prevent the national economic development and affect the existence of the human. Thus the comprehensive treatment of the problems is an urgent issue in China.

At present much progress has been made on the treatment of the problems described above. The treatment technologies of the coal mine water are determined by its characters and utilization after treatment. The desalination is the key treatment process for the highly-mineralized mine water, which includes chemical method, thermodynamic method, membrane separation method including electrodialysis and reverse osmosis, etc. The electrodialysis is the more credible technology, and has been used in many mining areas. The acidic mine water treatment technology is comprised of neutralization, biochemical method, ecological engineering method, reverse osmosis, etc. The coal gangue recycling technology includes making brick, making cement, extracting aluminumoxide, making aluminum chloride and so on.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70273050)

收稿日期:2003-02-17; **修订日期:**2003-08-10

作者简介:范英宏(1979~),女,河北邢台人,硕士,主要从事恢复生态和环境生态研究。E-mail: yhfan_bj@sina.com

* 通信作者 Author for correspondence, E-mail: lu-zhh@263.net

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 70273050)

Received date: 2003-02-17; **Accepted date:** 2003-08-10

Biography: FAN Ying-Hong, Master, main research field: restoration ecology and environmental ecology.

Making silicate cement is the most successful technology. The clean coal, desulfurization, central heating, fire-extinguishing methods are major treatment technologies for the air pollution in coal mining areas. And now the recycling of the CH_4 has been implemented in some mining areas. The land restoration can be divided into agricultural restoration, forestry restoration, water resource restoration, natural protection restoration, industry restoration and so on. The soil improvement is very important to the land restoration, which comprised of covering soil, physical and chemical treatment, adding nutrient materials (including organic fertilizer), removing hazardous materials, adding species and so on. Covering soil is an effective method, but the cost is very high; adding organic fertilizer can chelate the heavy metal ions, and can help the plants and microorganisms inhabit. There are a lot of methods for the remediation of the heavy metal pollution, mainly include the soil amendment, soil dressing method, chemical leaching method, and electrochemical method and so on. And bioremediation technology is the most promising technology for the contaminated soil, which includes microorganism remediation and phytoremediation. Many researches have been carried out, and scientists have found a lot of plants having the remediation capacity. The water and soil conservation and desertification treatments technologies can be divided into engineering treatment and biological treatment. The engineering treatment of the water and soil conservation includes coating method, netting method, anti-erosion covering method, etc. The coating method is the most conventional method. The engineering treatments can work in a short time, but the cost is high, and can't keep in a long time. But biological treatment is an effective method to the water and soil conservation, desertification treatment, vegetation recovery, and it is important to the introduction and selection of plant species which make the ecosystem stable.

The coal mining areas have been the most typically and severely damaged ecosystems. The government has attached much importance to them and demanded that the restoration plan must be established before the construction and reconstruction of the coal mining areas. But now there are a lot of problems in the ecological reconstruction and environmental protection. For example, the present treatment technologies of highly-mineralized mine water have cost highly. In the process of vegetation recovery, the surviving rate is low, and the recovered vegetation will degrade again. In the future we should enhance the research on the reconstruction of the whole mining areas, the characteristics and regulation of the succession of the coal mining ecosystems and the ecological risk assessment of the mining areas to instruct the ecological reconstruction practice of the mining areas.

Key words: coal mining area; ecological environment; ecological reconstruction; ecosystem; recycling

文章编号:1000-0933(2003)10-2144-09 中图分类号:X171.4 文献标识码:A

可持续发展是当今国际社会的主题。可持续发展就是要正确处理自然资源的永续利用与生产废弃物排放之间的关系,强化环境的价值观念和生态道德、促进资源的有效利用,抑制环境污染的发生,促进经济效益、社会效益和环境效益的协调统一^[1]。然而我国的煤炭工业在促进国民经济发展的同时却带来了一系列的生态环境问题,如空气、地表水、地下水、土壤的质量下降,生态系统退化,生物多样性丧失,景观受到破坏,农作物减产^[2]等。这些生态环境问题已不单纯是一个环境污染问题,而是关系到一个国家、民族经济发展和人类生存的根本性问题。

我国煤炭资源储量丰富,截止到1994年底,我国煤炭累计探明储量为 $14480 \times 10^8 \text{t}$,保有储量为 $10016.65 \times 10^8 \text{t}$ ^[3],已知的含煤面积超过 $5.5 \times 10^5 \text{hm}^2$,而且煤种齐全^[4]。从煤炭资源分布情况看,主要分布在山西、陕北、蒙西、新疆、山东、河南、苏北以及黑龙江等干旱、半干旱区域^[5]。煤炭是我国最主要的一次性能源,在国民经济发展中具有重要的作用。为保证国民经济的正常发展,预计到2020年煤炭仍占一次性能源的70%左右^[6],环境问题仍很突出。矿区生态重建已成为中国当前所面临的紧迫任务之一,也是中国实

施可持续发展战略应先关注的问题之一。

1 我国煤矿区主要生态环境问题

1.1 土地破坏

煤炭开采对土地资源的破坏是很大的,煤炭开采直接破坏土地的类型主要有挖损、塌陷和压占三种类型^[3,7~10]。我国土地资源十分匮乏,人均耕地只有 0.11 hm^2 ,不到世界人均耕地面积的 $1/2$ ^[11],土地的毁损更加剧了我国的人地矛盾。

1.1.1 土地挖损 露天采煤是把煤层上方的表土和岩层剥离之后进行的,因此,对土地损毁的最主要形式表现为直接挖损。尽管中国露天煤矿的产量仅占煤炭总产量的 5%,但露天煤矿开采对土地的毁损却相当严重。据调查与资料统计,露天矿正式投产后每开采万吨煤要挖损 $0.02\sim 0.18 \text{ hm}^2$ 土地,到目前为止,我国的露天采掘场挖损占地约为 8800 hm^2 ^[12]。露天开采彻底改变了土壤养分的初始条件,且增加了养分流失的机会。

1.1.2 土地塌陷 中国煤炭产量的 95% 为井工开采,煤矿塌陷地是采煤损毁土地的主要表现形式。土地沉陷是由于煤炭资源开采形成一定的地下采空区,导致上覆岩层的应力平衡被打破而产生变形,逐步沉降形成地表洼陷地带。据统计,全国煤炭开采历年形成的沉陷区已达 $0.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$,平均每年形成沉陷土地 $15000\sim 20000 \text{ hm}^2$,其中耕地占 30%^[4]。

1.1.3 土地占压 煤炭工业的占压土地包括两类,一是露天采矿剥离表层土堆积而形成的外排土场。另一是井工采煤由井下运到地面的矸石和洗煤厂将精煤洗出后排弃的矸石堆积而压占土地。我国大部分露天矿采用外排土方式,外排土场压占土地量约为采掘场挖损量的 1.5~2.5 倍,平均为 2 倍,现在我国露天外排土场压占土地面积达 16300 hm^2 ^[12]。据统计,我国煤矿现有矸石山 1000 多座,总堆积量达 30 亿 t,占地 5800 hm^2 ,并且每年新增排放量 1.5~2.0 亿 t,占地约 $300\sim 400 \text{ hm}^2$ ^[13]。

1.2 植被破坏

煤矿区森林植被的破坏主要是由于矿山工业广场的建设、矸石堆放、开山修路、地面塌陷与露天采矿剥离引起的。土壤作为供给植物生长发育所必需的水、肥、气、热的主要源泉,也是营养元素不断循环、不断更新的场所。矿区的建设和生产改变了土地养分的初始条件,从而使植被生长量下降。据调查,我国因采矿直接破坏的森林面积累计达 106 万 hm^2 ,破坏草地面积为 26.3 万 hm^2 ^[14]。植物作为生态系统的生产者,它的破坏使得矿区土地及其临近地区的生物生存条件破坏,生物量减少,生态系统结构受损、功能及稳定性下降,引起水土流失和沙漠化。

1.3 水体污染和破坏

煤矿区水体污染和破坏的主要形式有:①地下水转化为矿井水,水质遭受污染。②煤矸石淋滤对地表水、地下水的污染。③采矿引起的地下水流程的改变^[15]。矿井水、矸石堆淋溶水、选煤废水等排放量大且成分非常复杂,含有大量的悬浮物、重金属和放射性物质,危害大。据统计,2000 年全国煤矿的废污水排放量达到 $27.5 \times 10^8 \text{ t}$,其中矿井水 $23 \times 10^8 \text{ t}$,工业废水 $3.5 \times 10^8 \text{ t}$,洗煤废水 $5000 \times 10^4 \text{ t}$,其它废水 $4500 \times 10^4 \text{ t}$ ^[14]。这些废水的排放对矿区及周边河流、湖泊水域造成严重的污染,抑制了水生生物的生长和繁殖,进而影响到矿区生态系统健康和人类及动植物的生存。

1.4 大气污染

煤炭开采形成的废气主要指矿井瓦斯和地面矸石山自燃释放的气体。矿井瓦斯主要成分甲烷是一种重要的温室气体,其增温效应是 CO_2 的 21 倍。据统计,我国每年矿井开采排放甲烷 $70 \times 10^8 \sim 90 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占世界甲烷总排放量的 30%。矿区地面矸石山自燃及煤炭的利用释放出大量的 SO_2 、 CO_2 、CO 等有毒有害气体,严重污染大气环境,影响了植物的生长发育,危害了周边居民的身体健康。我国矸石山的自燃率很高,据 1994 年的矿山环境调查,淮河以北半干旱地区的 1072 座矸石山中,有 464 座发生过自燃,自燃率达 43.3%^[14]。另外煤炭运输过程产生的粉尘废气中还含有很多对人体有害的元素,一旦被吸入人体,会导致各种疾病甚至癌症的发生。

1.5 重金属污染

煤矸石多为黑灰色或黑褐色,其中含有大量的硫铁矿和重金属元素,在堆放过程中由于自燃和降雨淋滤形成的溶液,不仅污染塌陷区积水,而且,通过各种水力联系(导水砂层、地层裂隙、农灌、河流等)发生污染转移。采空塌陷产生大量的裂缝,并错断原隔水层,加强了地下水的水力联系,使周围土壤、水体受到污染,从而影响工农业生产。其中,毒性最大的是Cd,Pb,Hg,As,它们不但不能被生物降解,相反,却能在生物放大作用下、大量富集,沿食物链最后进入人体,引起急、慢性中毒,造成肝、肾、肺、骨等组织的损坏,甚至能够致癌、致畸、致死。

1.6 水土流失和土地沙漠化

由于我国煤矿区大部分位于植被稀少的干旱半干旱生态环境脆弱地区。因此,水土流失和土地沙漠化是我国煤矿区最突出的环境问题之一。煤矿建设和生产要开挖地表,弃土弃渣,破坏土地和植被,从而减少了地面植被的覆盖。植被覆盖率的减少改变了地表径流和地表的糙度,使土壤抗蚀指数降低,加剧了水土流失和土地沙化、干化。土地流失导致下游河湖的淤积,土壤营养元素的损失,造成地力衰退。沙漠化的过程是土壤生境碎化的过程,表现为土壤理化性质的劣化过程,土壤的粗化、伴随沙质荒漠化导致的土壤盐碱化、沼泽化,土壤团聚体粒径减小、含量降低,团粒结构的消失,土壤生物种类与种群数量的减少。沙质沙漠化过程中由于绿色植物这一生产者的减少,改变了生态系统能量转化的途径,改变了水分和营养元素的系统内循环途径^[16],进而影响到土壤物理、化学成分以及动植物和微生物等土壤生物区系的种类和数量,造成植被的逆行演替,导致生态系统退化。中西部是我国能源的重要输出地区,但降水稀少,植被稀疏,土地沙漠化现象十分严重。随着我国煤炭开采开始西移,这些地区水土流失和沙漠化问题将更为突出。

2 矿区生态恢复与重建技术

生态重建是通过人为措施,使退化的生态系统恢复到能进行自我维持的正常状态,使其能够按照原来的自然规律运行演替^[17],进而达到恢复地生态系统的自稳定性。尽管对退化生态系统恢复的目标及采用的技术不同,但大致可分为以下几类基本的恢复技术体系^[1]:(1)非生物或环境要素的恢复技术;(2)生物因素(包括物种、种群和群落)的恢复技术;(3)生态系统(包括结构与功能)恢复总体规划、设计与组装技术。针对我国煤矿区生态环境特点,生态恢复与重建工作主要从以下几方面开展:

2.1 矿井水和煤矸石的无害化、资源化技术

通常矿井水都含有悬浮物,因此首先要进行悬浮物的去除,这和一般的水处理工艺相同。其它的处理工艺技术,决定于矿井水的性质和处理后的用途。按污染物的特性,矿井水一般可分为:洁净矿井水、含悬浮物矿井水、高矿化度矿井水、酸性矿井水、碱性矿井水及含特殊污染物的矿井水^[18]。对高矿化度矿井水关键是脱盐处理。脱盐的方法主要有:化学法,热力学法,膜分离法(包括电渗析和反渗透)。其中电渗析脱盐技术较为可靠,且这种处理方法在北方许多矿区已经应用。我国大同矿务局同家梁矿、甘肃阿干煤矿、徐州张集煤矿都采用电渗析法来处理矿井水,并且取得了很好的效果。酸性矿井水水质复杂,主要分布在南方,若处理成生活用水,成本高,一般处理后达标排放或回用于对水质要求低的工业用水。目前主要的处理方法有中和法、生物化学法、湿地生态工程法、反渗透法等,其中石灰中和法是目前普遍采用的处理方法。福建省永定矿务局瓦窑坪煤矿就是这种方法,经过中和、沉淀、过滤后,出水可达到排放标准。对于含有毒、有害元素或放射性元素的矿井水首先去除悬浮物,然后对其中不符合水质标准的污染物进行处理,对含氟水,可用活性氧化铝吸附去氟,也可用电渗析法除盐的同时除氟。对于含铁、锰的水,通常采用混凝、沉淀、吸附、离子交换和膜技术等处理方法。

目前煤矸石的回收利用技术主要有烧砖、制水泥、混凝土和铺路,回收煤炭、黄铁矿,提取氧化铝及制备无水三氯化铝、结晶氯化铝、聚合氯化铝和水玻璃,利用煤矸石生产硅铝系合金、代替燃料发电及最近报道的以煤矸石为原料合成Y型沸石、利用其中的SiO₂及Al₂O₃研制高分子絮凝剂——聚硅酸铝等。但国内外在煤矸石综合利用方面以煤矸石制硅酸盐水泥最为成功。由于煤矸石在成份特性方面存在很大差异,其治理和利用方面还有很多工作要做,有些尚在研究和试验之中。

2.2 煤矿区大气污染治理技术

我国煤矿区的一大特色是烟囱林立,为了减少分散供热供暖造成的大气污染,可以采用集中供热措

施。同时要大力推广型煤、洁净煤技术,以及流化床脱硫等技术,最大限度地降低煤烟型污染和酸雨的危害。对露天矿的防尘,主要是采用湿式措施。即向预爆破矿体或表面撒水、水封爆破和大爆破后通风降尘等。为防止汽车路面积尘飞扬,可采取如下措施:向路面撒水、喷洒氯化钙、氯化钠或其它溶液等。可以开展煤矸石的资源化和灭火技术的研究减少煤矸石自燃产生的污染。对煤矿瓦斯可采取抽放、积储技术,建立储气厂再经调压供矿区居民和当地居民的使用。我国煤层气抽放利用始于 20 世纪 50 年代,到 1999 年全国矿井煤层气抽放总量为 $82.436 \times 10^7 \text{ m}^3$;抽放量大于 $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的矿务局(矿业集团)有 20 个,合计抽放量为 $74.78 \times 10^7 \text{ m}^3$,但中国绝大部分矿务局(矿业集团)的抽放量仍然很低^[19]。

2.3 矿区土地恢复技术

矿区土地恢复的主要目的是重新开垦已被破坏的土地,恢复其应有的使用价值,同时消除或防治土地破坏所带来的各种危害。根据用途可以将复垦分为农业复垦、林业复垦、牧业复垦、自然保护复垦、水资源复垦和工业复垦等。根据技术方法可分为工程技术复垦和生物技术复垦两种^[20]。目前,国内外在采煤塌陷地、露天开采以及废弃物堆积地等复垦方面已有比较成熟的技术。从总体来讲,土壤系统的恢复分为两个部分,即稳定化处理和土壤改良。

2.3.1 稳定化处理 矿区稳定化处理主要指对采矿形成的洼坑进行回填形成平地,对排土场的边坡进行处理,不致造成塌陷,形成渗漏和边坡。对于出现地面积水、土壤盐渍化等现象的土地要进行脱盐排水。对于积水塌陷区,可以采取充填复垦和疏排法等非充填方法治理。

2.3.2 土壤改良措施 矿区土壤由于采矿活动对矿区地表的破坏,以及固体废弃物堆积造成的污染,使得矿区土壤系统生物多样性低,重金属含量过高,pH 值太低,植物生长所必需的营养物质缺乏,给矿区生态重建带来不利的影响。在恢复植被前首先要对土壤进行改良,其中最简单的方法就是覆盖土壤,这种方法可能解决上述的问题。但该方法的费用很高,因此在具体实践中适用于经济条件好、生态环保意识较强的矿区。查德威克于 1973 年指出,在很多煤矿废弃物中,酸性是限制植物生长的重要因素。而且酸性能提高重金属离子的溶解度,从而增强其毒性。对于 pH 值不太低的酸性土壤可以通过施用石灰来调节酸性,达到适宜的 pH 值,但在 pH 值过低时,一次性石灰用量会很大,不利于作物生长,可以用磷矿粉来改良酸性,一来可以提高土壤肥力,二来能在较长的时间内控制土壤 pH 值^[21]。大部分矿区土壤缺乏氮、磷等营养物质,解决这类问题的方法是添加肥料和利用豆科植物的固氮能力。添加有机肥也是改良土壤的一种有效方法,由于有机质比化肥对废弃物上生长的植物能起更好的更持久的助长作用。在植物根系接种真菌菌株^[22,23],可以促进植物根系对土壤中磷、钾、钙等矿质元素的吸收,扩大根系吸收面积,提高植物抗旱、抗涝能力,增强植物对病虫害的抵抗能力。

2.4 植被恢复技术

植物种类的选择是矿区植被恢复成败的关键因素之一。植物种类的选择一般是根据植被恢复的目标和当地的气候、土壤等自然条件、现场植被调查等而确定的。选定的植物一般具有较强的适应能力,如具有固氮能力强,根系发达,耐瘠薄,播种栽植较容易等特征的植物。而且应尽量选用优良的土著种或先锋品种,还可应用生物工程选择抗逆性强的优良品种。目前我国在植物种类选择方面做了许多工作。陈振金等^[24]通过研究发现禾本科的类芦、五节芒、象草、糖蜜草、宽叶雀稗、马唐,豆科的大翼豆、勒子树、多花木兰等在煤矸石无土植被恢复中可以做为先锋物种。李晋川等^[25]对安太堡露天矿进行了植被恢复研究,发现豆科牧草适合做复垦的先锋植物,沙棘、柠条等少数灌木生长优势明显,刺槐和新疆杨为优良树种,可用于安太堡露天煤矿和黄土区类似矿区植被恢复选用,冯杰等^[26]研究发现多年生豆科牧草如小叶银合欢、大翼豆、距瓣豆、紫花圆叶舞草、柱花草、野大豆等适合于酸性土壤。

选用优良植物品种只是植被恢复工作的一部分,如何维持植被的覆盖度,如何建立一个能够自我调节的生态系统是相当重要的^[27]。根据生态学原理,物种多样性是生态系统稳定性的基础,使用多物种,特别是将乔、灌、草、藤多层配置结合起来进行植被恢复,建立的生态系统稳定性及可持续性均比单物种或少物种效果好。在我国这方面工作开展的时间较短,且主要停留在物种的引入和筛选上,缺乏群落结构优化配置模式的多样性研究,以后应当加强这方面的研究。

2.5 土壤重金属污染治理技术

煤矿区重金属主要是由于煤矸石风化自燃及淋溶而迁移到土壤、水体中的^[28]。因此矿区重金属污染的治理首先要从清洁生产入手,发展煤矸石资源化技术,减少煤矸石堆放量。其次采取其它方法治理被污染的土壤、水体。目前,对重金属土壤污染进行治理的方法通常有使用土壤改良剂、客土法、排土法、化学冲洗法、酸淋失和电化学法^[29]等。这些方法各有优缺点,如电化学法虽然治理效果较为彻底、稳定,但投资大,易引起土壤肥力减退,适于小面积的重度污染^[30]。在现有的土壤重金属污染治理技术中,生物恢复技术被认为是最有生命力的^[31,32]。重金属污染生物恢复技术主要包括微生物修复和植物修复。

2.5.1 微生物修复技术 研究发现不少细菌产生的特殊酶能还原重金属,且对不少重金属如 Cu、Cd、Mn、Pb 等有亲和力。L. L. Barton 等人对利用细菌除去废弃物中 Se、Pb 毒性的可能性进行了研究。结果表明,菌种 *Pseudomonas mesophilica* 和 *P. maltophilia* 能将硒酸盐和亚硒酸盐还原为胶态的硒,并将二价的铅转化为胶态的铅,而胶态的硒、铅不具毒性,且结构稳定^[33]。此外, KACATKNHAT. II 用铬还原细菌和 hechromatic KC 将 Cr^{6+} 降低到 0.1mg/L 以下, Cr^{2+} 可降低到 2mg/L 以下^[30]。可见,选择合适的微生物种将对重金属的解毒起到积极作用。

2.5.2 植物修复技术 植物修复技术从原理上考虑可以分为植物提取、植物挥发、植物过滤、植物钝化等。植物提取是目前研究最多并且最有发展前景的一种方法。已经发现 400 多种植物能超量富集重金属。聂汉平等^[34]用盆栽试验发现,香根草对 Pb、Zn 的吸收量比百喜草高,而百喜草对 Cu 的吸收量比香根草高。束文胜等^[35]通过调查,首次报道鸭跖草是 Cu 的超富集植物,综合植物分布区土壤中的 Cu 含量和植物体的 Cu 含量,认为铜绿山海洲香薷、鸭跖草、蝇子草、头花蓼、滨蒿种群都可用于富 Cu 土壤如矿业废弃地的植被重建,而超富集植物鸭跖草可用于 Cu 污染土壤的植物修复。基因工程是获得超量积累植物的新方法,有必要利用转基因技术等来培育植物新品种。

2.6 水土流失与沙漠化防治技术

我国的大型露天煤矿大多处于干旱、半干旱的生态脆弱区,如平朔矿区、准格尔矿区位于黄土高原水土流失严重区,霍林河矿区、伊敏河矿区位于草原风沙区,神府东胜矿区位于毛乌素沙漠和西北黄土高原过渡地带的沙化区。故水土流失和沙漠化治理更应引起高度重视。水土流失和沙漠化治理分为工程治理技术和生物治理技术两种。

2.6.1 工程治理技术 用工程措施治理水土流失的方法有建立防洪护矿拦渣工程,涂层法,网席法,抗侵蚀被法等。涂层法是国外广泛采用的方法之一。涂层材料包括沥青乳液和棉籽醇树脂乳液等黏性物质,通过对排土场表面作固结处理,可有效地防治风蚀和水蚀。网席法是将易侵蚀的坡面用草席或纤维织网压草覆盖坡面,防止坡面侵蚀。抗侵蚀被法和网席法类似,侵蚀被由一面能光降解,一面能生物降解的草等材料组成。沙漠化的工程治理是利用杂草、树枝以及其它材料,在沙丘上设风障或覆盖在沙面上。工程治理的优点是能够立即奏效,但成本高、费工大、不能长期保存。

2.6.2 生物治理技术 植被稀少是造成矿区水土流失和沙漠化的直接原因,因此要加强矿区的林草建设。林草建设要做到因地制宜,宜林则林宜草则草,根据当地自然状况,选择合适的植物种类。矿区水土保持选用的植物应当具有固氮能力,根系发达,生长迅速等特点,油松、华北落叶松、山杏、小叶杨、小黑杨、沙棘、荆条、沙打旺、紫花苜蓿、羊草等比较适合。矿区内的林草措施主要有采掘场内平台林草措施;排土场平台、边坡林草措施;排土场外围防护林;铁路防护林等。沙漠化土地中水是最大的限制性因子,植物因缺水而不能成活和成活后难以生存,因此在选择物种时要选择适合沙地环境、易繁、速生;耐风蚀沙埋、灌丛大;生产力高;耐瘠薄、生长稳定、寿命长的树种。沙漠地种植的一般树种有:合作杨、沙枣、毛条、柠条、花棒、杨柴、沙拐枣、中间金鸡儿等。林带结构一般有 3 种,即紧密结构林带、疏透结构林带、通风结构林带等。实践证明通过合理的工程和生物治理,矿区沙漠化是可以治理的。例如我国的东胜矿区井田沙漠化土地经过人工固沙造林和围封管护,其下垫面发生了质的变化,地表粗糙度和地表阻力由治理前的 0.0034cm 和 0.0002cm 分别增大到 0.3038~1.1870cm 和 0.00034~0.00056cm,风沙输沙量由 20.8g/(min·cm²)降至 2.49~4.67g/(min·cm²),井田 100km² 重点开发治理区的植被覆盖度由 1990 年治理前的不足 6%提高到

28.9%, 井田沙漠化土地治理取得明显的环境效益^[36]。矿区沙漠化土地植被恢复中, 保水剂和生态种子技术的应用, 亦可显著提高植物的成活率和保有率。

3 结语

煤矿区已成为当今世界陆地生物圈最为典型、退化最为严重的生态系统。矿区生态环境问题已受到中国政府的高度重视, 并将其列入我国国民经济和社会发展“十五”计划生态建设和环境保护重点专项规划中。但由于多种原因我国矿区生态建设和环境保护工作还存在如下问题。(1) 由于没有完善的生态重建的法律法规, 矿区土地恢复和生态重建还没完全走上法制化、规范化的轨道, 许多矿区的生态重建仍停留在自发状态。资金及技术问题成为制约矿区生态重建的主要症结。(2) 没有完全把生态重建工作纳入生产过程中。如在露天矿开采中, 剥离物随意堆放, 而造成恢复的植被再度退化, 甚至一开始就很难恢复, 应实行“采-复一体化”。(3) 对矸石山植被恢复的一些理论及技术问题还没有解决。如煤矸石山适宜的植物种类, 植物群落的合理组成及结构等缺乏必要的生态学指导。(4) 在矿井水和煤矸石资源化方面技术还不成熟, 而造成煤矸石的大量堆放, 矿区水体的污染和水资源的短缺。(5) 在生态恢复重建方面目前的工作多停留在物种的引入和筛选, 缺乏群落结构优化配置模式的多样性研究, 而造成植物成活率和保存率低, 恢复植被再度退化等问题。针对以上问题在以后的工作中应当尽快制定矿区生态重建法规、完善现有的土地复垦法。界定土地复垦与生态重建的概念、内涵, 明确、细化各主管部门的责权利及土地恢复与生态重建的资金渠道。土壤是矿区土地恢复与生态重建的基础, 由于矿区土壤贫瘠并且重金属污染严重, 植物和微生物很难生存, 从而阻碍了矿区稳定生态系统的恢复与重建, 今后应加强土壤重金属治理、土壤改良及生物修复的技术研究。在理论上要加强矿区生态系统演替特点和规律、植被及生态系统退化机理、土壤系统恢复、矿区生态风险评价等方面的研究, 促进我国矿区生态重建科研和实践工作的开展。

References:

- [1] Ren H, Peng S L. *Introduction of restoration ecology*. Science Press, 2001. 107.
- [2] Jiang B L, Wang B S. The ecological perspective of the sustainable development. *Ecological Science*, 2000, 19(1): 65~69.
- [3] He S J, Guo H C, Wei C Y, et al. Land restoration in coal mining fields in China. *Acta Geography Sinica*, 1996, 9(3): 23~32.
- [4] Jiang J, Cheng J G. Establish of target system for resource exploitation and ecological protection in coal mine. *Coal Mine Environmental Protection*, 2002, 16(2): 16~18.
- [5] Bian Z F. *Study on the regulation and succession of the interface factors in the coal mine reclamation*. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 1997.
- [6] Wei T. The systematical analysis of the sustainable development of Chinese coal industry. *Journal of China Coal Economic Academy*, 1996, (1): 15~20.
- [7] He S J, Su G Q. Evaluation method and it's application to the potentiality of waste land restoration of China's abandoned mining areas. *Geographical Research*, 2000, 19(2): 163~171.
- [8] Su G Q, He S J, Guo H C. Suitability assessment on the waste land resources of China's mining areas. *Progress in Geography*, 1998, 17(4): 39~46.
- [9] Zhou S L, ed. *Disuse land restoration and virescence in mining fields*. Beijing: China Forestry Press, 1995.
- [10] Hu Z Q. *Land restoration in open cast*. Beijing: Coal Industry Press, 1995.
- [11] Shu W S, Zhang Z Q, Lan C Y. The study on the reclamation strategies of abandoned lands in China's mining areas. *Ecological Science*, 2000, 19(2): 24~28.
- [12] Xiao X T, Wang Z H. The research for land destruction by coal mine and reclamation. *Opencast Mining Technology*, 2001, (4): 31~34.
- [13] Li J Z. *The sustainable development and utilization technologies of coal industry*. Beijing: Coal Industry Press, 1998.
- [14] Geng D M, Jiang F X. The analysis of environmental problems in China's mining areas. *China Coal*, 2002, 28(7):

- 21~24.
- [15] Duan Z H. The effects of development and environmental and geological problems in Yu-Shen-Fu mining areas. *Shanxi coal*, 2001, (2): 1~3.
- [16] Jiang F Q i, Cao C Y, Zeng D H, et al. *Degradation and restoration of the ecosystem on Keerqin sandy land*. Chinese Forestry Press. 2002. 111~112.
- [17] Yang B Z, Bian Z F. Some discussions on the ecological rehabilitation technologies in mine areas in the eastern China. *Coal Mine Environmental Protection*, 2000, (3): 7~10.
- [18] Hu W R. *The treatment and utilization technologies of waste water and coal water*. The Coal Industry Press, 1998.
- [19] Rao M Y. Gas drainage and application of coal bed methane in China underground coal mines. *Coal Science Technology*, 2001, 30(1): 61~63.
- [20] Liu L N. The reclamation experience and calamity caused by the industry and mine development in the world. *The Bulletin of Water and Soil Conservation*, 1986, 6(2): 48~50.
- [21] Zhou S L, et al. The study on the fertility in the reclamation of coal gangue. *Metal Mine Design and Construction*, 1994, 26(4): 27~30.
- [22] Tang M. The progress of the study on the fungi's improving the salt and alkali and heavy metal resistance. *Soil*, 1998, (5): 251~254.
- [23] Bi Y L, Hu Z Q, Si J T, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake of maize in reclaimed soil. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2002, 31(3): 252~257.
- [24] Chen Z J, Zheng D Z. Study on soilless vegetation resumption technique of gangue hills. *Fujian Environment*, 2001, 18(1): 11~14.
- [25] Li J C, Wang W Y, Lu C N. Exploitation on vegetations of dump land on An-Tai-Bao surface mine. *Henan Science*, 1999, 17(suppl): 92~95.
- [26] Feng J, Ma Y Q. Study on selection of slope protection plantation varieties in acid soil mine area reclamation. *Metal Mine Design and Construction*, 2001, 33(1): 28~30.
- [27] Pichtel J R, Dick W A, Sutton P. Comparison of amendments and management practices for long-term reclamation of abandoned mine lands. *Environmental Quality*, 1994, 23(4): 766~772.
- [28] Feng Q Y, Liu G J. Harmful microelements contained in gangue from Yanzhou coal mine and their influences to the soil. *China Mining Magazine*, 2002, 11(1): 67~69.
- [29] Shen D Z. Phytoremediation technology of the contaminated soil. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(2): 59~64.
- [30] Li Y T. The research for the treatment technologies of the contaminated soil. *Agro-environmental Protection*, 1997, 16(3): 118~122.
- [31] Carraway J W and Doyle J R. Innovative remedial action at a wood-treating superfund site. *Tappi. Journal*, 1991, 74: 113~118.
- [32] Sim s J L, et al. Approach to bioremediation of contaminated soil. *Hazardous waste and Hazardous Materials*, 1990, 7: 117~149.
- [33] Xia X H. The research development on the treatment techniques of the contaminated soil by heavy metals. *Environmental Science*, 1997, 18(3): 72~75.
- [34] Nie H P, Shu W S. Resistance to and uptake of heavy metals by *Vetiveria zizanioides* and *Paspalum notatum* from lead/zinc mine tailings. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7): 1121~1129.
- [35] Shu W S, Yang K Y, Zhang Z Q, et al. The study on the vegetation and heavy metal content in the dominant plants of the residue in an ancient copper mine in Hubei Province. *China Journal of Applying and Environmental Biology*, 2001, 7(1): 7~12.
- [36] Yang J P, Lu J B. *Ecological restoration engineering technology*. Beijing: Chemistry industry press. 2002.

参考文献:

- [1] 任海,彭少麟. 恢复生态学导论. 北京: 科学出版社, 2001. 107.
- [2] 姜必亮,王伯荪. 可持续发展的生态学透视. 生态科学, 2000, 19(1): 65~69.
- [3] 何书金,郭焕成,韦朝阳,等. 中国煤矿区的土地复垦. 地理学报, 1996, 9(3): 23~32.
- [4] 姜军,程建光. 煤矿区资源开发与生态保护指标体系的建立. 煤矿环境保护, 2002, 16(2): 16~18.
- [5] 卞正富. 矿区土地复垦界面要素的演替规律及调控研究. 徐州: 中国矿业大学, 1997.
- [6] 魏同. 中国煤炭工业可持续发展的系统分析. 中国煤炭经济学院学报, 1996, (1): 15~20.
- [7] 何书金,苏光全. 矿区废弃土地复垦潜力评价方法与应用实例. 地理研究, 2000, 19(2): 163~171.
- [8] 苏光全,何书金,郭焕成. 矿区废弃土地资源适宜性评价. 地理科学进展, 1998, 17(4): 39~46.
- [9] 周树理主编. 矿山废弃地复垦与绿化. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [10] 胡振琪. 露天煤矿土地复垦研究. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.
- [11] 束文胜,张志泉,蓝崇玉. 中国矿业废弃地的复垦对策研究. 生态科学, 2000, 19(2): 24~28.
- [12] 肖兴田,王志宏. 煤炭资源开发对土地破坏及土地复垦之研究. 露天采煤技术, 2001, (4): 31~34.
- [13] 李金柱. 煤炭工业可持续发展的开发利用技术. 北京: 煤炭工业出版社, 1998.
- [14] 耿殿明,姜福兴. 我国煤炭矿区生态环境问题分析. 中国煤炭, 2002, 28(7): 21~24.
- [15] 段中会. 榆神府矿区环境地质问题及开发效应. 陕西煤炭, 2001, (2): 1~3.
- [16] 姜凤岐,曹成有,曾得意,等. 科尔沁沙地生态系统退化与恢复. 北京: 中国林业出版社, 2002. 111~112.
- [17] 杨本志,卞正富. 浅议我国东部矿区的生态重建技术. 煤矿环境保护, 2000, 14(3): 7~10.
- [18] 胡文容. 煤矿矿井水及废水处理利用技术. 北京: 煤炭工业出版社, 1998.
- [19] 饶孟余. 中国煤矿区井下煤层气抽放及利用. 煤炭科学技术, 2002, 30(1): 61~63.
- [20] 刘利年. 国内外开发工矿区造成的恶果和垦复经验. 水土保持通报, 1986, 6(2): 48~50.
- [21] 周树理. 煤矸石复垦地肥力的研究. 冶金矿山设计与建设, 1994, 26(4): 27~30.
- [22] 唐明. VA 菌根提高植物抗盐碱和抗重金属能力的研究进展土壤. 土壤, 1998, (5): 251~254.
- [23] 毕银丽,胡振琪,司继涛等. 接种菌根对充填复垦土壤营养吸收的影响. 中国矿业大学学报, 2002, 31(3): 252~257.
- [24] 陈振金,郑大增. 煤矸石山无土植被恢复技术. 福建环境, 2001, 18(1): 11~14.
- [25] 李晋川,王文英,卢崇恩. 安太堡露天煤矿新垦土地植被恢复的探讨. 河南科学, 1999, 17(专辑): 92~95.
- [26] 冯杰,马彦卿. 酸性土壤矿区复垦中护坡植被品种筛选研究. 冶金矿山设计与建设, 2001, 33(1): 28~30.
- [28] 冯启言,刘桂建. 兖州煤田矸石中的微量有害元素及其对土壤环境的影响. 中国矿业, 2002, 11(1): 67~69.
- [29] 沈德中. 污染土壤的植物修复. 生态学杂志, 1998, 17(2): 59~64.
- [30] 李永涛. 土壤污染治理方法研究. 农业环境保护, 1997, 16(3): 118~122.
- [34] 夏星辉. 土壤重金属污染治理方法研究进展. 环境科学, 1997, 18(3): 72~75.
- [34] 聂汉平,束文胜. 香根草和百喜草对利铅锌尾矿重金属的抗性与吸收差异研究. 生态学报, 2001, 21(7): 1121~1129.
- [35] 束文圣,杨开颜,张志权,等. 湖北铜绿山古铜矿冶炼渣植被与优势植物的重金属含量研究. 应用与环境生物学报, 2001, 7(1): 7~12.
- [36] 杨京平,卢建波. 生态恢复工程技术. 北京: 化学工业出版社, 2002.